

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

4

(11)Publication number : 2001-318259  
 (43)Date of publication of application : 16.11.2001

(51)Int.Cl. G02B 6/16  
 G02B 6/22

(21)Application number : 2001-055956 (71)Applicant : FUJIKURA LTD  
 (22)Date of filing : 28.02.2001 (72)Inventor : SUZUKI TAKAAKI  
 AIKAWA KAZUHIKO  
 SUZUKI TAKASHI  
 WADA AKIRA

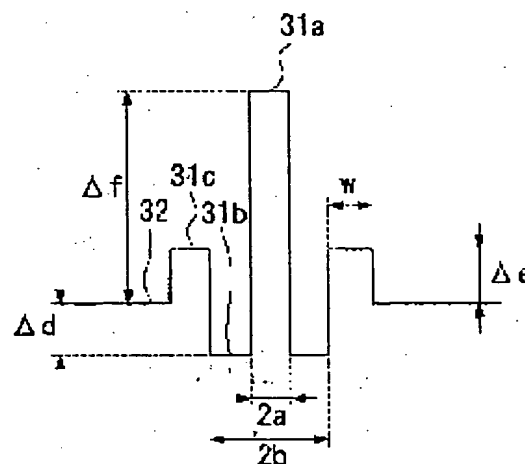
(30)Priority  
 Priority number : 2000054646 Priority date : 29.02.2000 Priority country : JP

## (54) DISPERSION COMPENSATING OPTICAL FIBER

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a dispersion compensating optical fiber, capable of compensating for the wavelength dispersion of a 1.3  $\mu\text{m}$  single-mode optical fiber over the whole region of 1.53–1.63  $\mu\text{m}$ .

SOLUTION: The dispersion compensating optical fiber is formed, where the wavelength dispersion is  $\leq -50$  ps/nm/km at a wavelength of 1.55  $\mu\text{m}$ , a negative dispersion slope is provided over the whole wavelength region of 1.53–1.63  $\mu\text{m}$ , a cut-off wavelength substantially becoming single-mode propagation is provided, an effective core cross section is  $\geq 20 \mu\text{m}^2$ , and moreover the absolute value of the wavelength dispersion of the whole lines is  $\leq 15$  ps/nm/km, when the wavelength dispersion of the 1.3  $\mu\text{m}$  single-mode optical fiber which is an object to be compensated is compensated.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 23.03.2001  
 [Date of sending the examiner's decision of rejection]  
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
 [Date of final disposal for application]  
 [Patent number]  
 [Date of registration]  
 [Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
 [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
 [Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998.2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-318259

(P2001-318259A)

(43) 公開日 平成13年11月16日 (2001.11.16)

(51) Int.Cl.

識別記号

F I

テラビート (参考)

G 0 2 B 6/16  
6/22G 0 2 B 6/16  
6/22

2 H 0 5 0

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2001-55956 (P2001-55956)

(22) 出願日 平成13年2月28日 (2001.2.28)

(31) 優先権主張番号 特願2000-54646 (P2000-54646)

(32) 優先日 平成12年2月29日 (2000.2.29)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005186

株式会社フジクラ

東京都江東区木場1丁目5番1号

(72) 発明者 鈴木 孝昭

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内

(72) 発明者 愛川 和彦

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外3名)

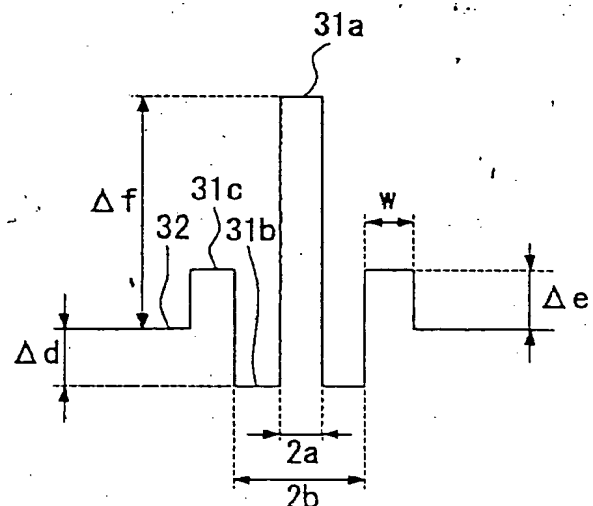
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分散補償光ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 1.53～1.63  $\mu\text{m}$  の全範囲において、1.3  $\mu\text{m}$  用シングルモード光ファイバの波長分散を補償することができる分散補償光ファイバを提供する。

【解決手段】 波長1.55  $\mu\text{m}$  において、波長分散が  $-50 \text{ ps/nm/km}$  以下であり、波長1.53～1.63  $\mu\text{m}$  の全範囲において、負の分散スロープを有し、実質的にシングルモード伝搬となるカットオフ波長を備え、有効コア断面積が  $20 \mu\text{m}^2$  以上であり、かつ補償対象である1.3  $\mu\text{m}$  用シングルモード光ファイバの波長分散を補償したときの線路全体の波長分散の絶対値が  $15 \text{ ps/nm/km}$  以下であることを特徴とする分散補償光ファイバを形成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長 $1.53\sim 1.63\mu\text{m}$ の全範囲において、 $1.3\mu\text{m}$ 用シングルモード光ファイバの波長分散を補償可能な分散補償光ファイバであって、波長 $1.55\mu\text{m}$ において、波長分散が $-50\text{ps/nm/km}$ 以下であり、

波長 $1.53\sim 1.63\mu\text{m}$ の全範囲において、以下の(A)～(D)の条件を満足することを特徴とする分散補償光ファイバ。

(A) 負の分散スロープを有する。

(B) 実質的にシングルモード伝搬となるカットオフ波長を備えている。

(C) 有効コア断面積が $20\mu\text{m}^2$ 以上である。

(D) 補償対象である $1.3\mu\text{m}$ 用シングルモード光ファイバの波長分散を補償したときの線路全体の波長分散の絶対値が $15\text{ps/nm/km}$ 以下である。

【請求項2】 請求項2に記載の分散補償光ファイバにおいて、波長 $1.53\sim 1.63\mu\text{m}$ の全範囲において、補償対象である $1.3\mu\text{m}$ 用シングルモード光ファイバの波長分散を補償したときの線路全体の波長分散の絶対値が $0.5\text{ps/nm/km}$ 以下であることを特徴とする分散補償光ファイバ。

【請求項3】 請求項1または2に記載の分散補償光ファイバにおいて、波長 $1.53\sim 1.63\mu\text{m}$ の全範囲において、曲げ損失が $30\text{dB/m}$ 以下であることを特徴とする分散補償光ファイバ。

【請求項4】 請求項1～3のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバにおいて、コアとその外周上に設けられたクラッドとからなり、該コアが、前記クラッドよりも高い屈折率を備えた中心コア部と、該中心コア部の外周上に設けられ、前記クラッドよりも低い屈折率を備えた中間コア部と、該中間コア部の外周上に設けられ、前記クラッドよりも高い屈折率を備えたリング状のリングコア部とからなることを特徴とする分散補償光ファイバ。

【請求項5】 請求項1～4のいずれか一項に記載の分散補償光ファイバにおいて、中心コア部と、該中心コア部の外周上に設けられた該中心コア部よりも低い屈折率を備えた中間コア部と、該中間コア部の外周上に設けられた該中間コア部よりも高く、かつ前記中心コア部よりも低い屈折率を備えたリング状のリングコア部と、該リングコア部の外周上に設けられた該リングコア部よりも低く前記中間コア部よりも高い屈折率を備えたクラッドとからなることを特徴とする分散補償光ファイバ。

【請求項6】 請求項4または5に記載の分散補償光ファイバにおいて、中心コア部の外径を $2a$ 、リングコア部の内径を $2b$ 、リングコア部の幅を $w$ 、クラッドと中間コア部との比屈折率差を $\Delta d$ 、クラッドとリングコア部との比屈折率差を $\Delta e$ 、クラッドと中心コア部と比屈折率差を $\Delta f$ としたとき、 $2.5 \leq b/a \leq 5.0$ 、

$0.3 \leq w/a \leq 1.7$ 、 $\Delta d$ が $-0.2 \sim -0.5\%$ 、 $\Delta e$ が $0.1 \sim 1.3\%$ 、 $\Delta f$ が $1.5\%$ 以下であることを特徴とする分散補償光ファイバ。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は分散補償光ファイバに係り、特に従来よりも長い波長帯においても $1.3\mu\text{m}$ 用シングルモード光ファイバの波長分散を補償できるものである。

【0002】

【従来の技術】従来、波長 $1.3\mu\text{m}$ において波長分散がほとんどゼロのシングルモード光ファイバ（以下 $1.3\mu\text{m}$ SMFと記す）と分散補償光ファイバとを組み合わせ、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯（いわゆるCバンド帯：一般に $1.53\sim 1.57\mu\text{m}$ 程度の範囲）で伝送する光通信システムが提案されている。例えば $1.3\mu\text{m}$ SMFの波長分散は、波長 $1.55\mu\text{m}$ において概略 $+17\text{ps/nm/km}$ （正の波長分散）程度なので、これを用いて波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の光通信を行うと大きな波長分散を生じることになる。これに対して分散補償光ファイバは、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯で絶対値が比較的大きい負の波長分散を有するため、上述のようにこれらを組み合わせることにより、比較的短い使用長さの分散補償光ファイバによって、例えば数km以上の通常の $1.3\mu\text{m}$ SMFで生じた波長分散を打消すことができる。また、 $1.3\mu\text{m}$ SMFの波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯における分散スロープは $+0.06\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 程度（正の値）なので、この分散スロープもあわせて補償するためには、負の分散スロープを有する分散補償光ファイバを用いると好ましい。分散スロープを補償することができれば、波長多重伝送（WDM伝送）のように波長の異なる複数のパルス光を伝送する用途にも使用することができる。

【0003】従来の分散補償光ファイバとしては、例えば単峰型の屈折率プロファイル（以下単峰型プロファイルと記す）を有するものや、W型の屈折率プロファイル（以下W型プロファイルと記す）を有するものなどが提案されている。図2は単峰型プロファイルの一例を示したものであり、中心にコア11が位置し、その外周上にこのコア11よりも低屈折率のクラッド12が設けられて構成されている。前記コア11は例えば $\text{GeO}_2$ （酸化ゲルマニウム）添加 $\text{SiO}_2$ （石英）からなり、クラッド12は純粋 $\text{SiO}_2$ 、あるいはF、Cl、Geの少なくともひとつが添加された $\text{SiO}_2$ などからなる。 $\Delta f$ はコア11とクラッド12との比屈折率差である。

【0004】図3はW型プロファイルの一例を示したので、中心に位置する中心コア部21aと、その外周上に設けられ、この中心コア部21aよりも低屈折率の中間コア部21bと、この中間コア部21bの外周上に設けられ、この中間コア部21bよりも高屈折率で、かつ

10

20

30

40

50

前記中心コア部21aよりも低屈折率のクラッド22からなるものである。前記中心コア部21aは例えばGeO<sub>2</sub>、添加SiO<sub>2</sub>、からなり、中間コア部21bはF（フッ素）添加SiO<sub>2</sub>、からなり、クラッド22は純粋SiO<sub>2</sub>、あるいはF、Cl、Geの少なくともひとつが添加されたSiO<sub>2</sub>、などからなる。なお、2a<sub>1</sub>は中心コア部21aの外径（a<sub>1</sub>は外径の1/2を示す）、2b<sub>1</sub>は中間コア部21bの外径（b<sub>1</sub>は外径の1/2を示す）、Δd<sub>1</sub>はクラッド22と中間コア部21bとの比屈折率差、Δf<sub>1</sub>はクラッド22と中心コア部21aとの比屈折率差である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】一方、光ファイバにおいて、非線形効果が発生すると伝送特性が劣化する。特に最近盛んに検討されている波長多重伝送や光増幅器を用いた光通信システムのように高パワーの信号光を伝搬する場合は非線形効果が発生しやすく、非線形効果の抑制技術が必要となる。非線形効果を抑制する方法としては、コアに添加するGe、Fなどのドーパント量を減らすことによって光ファイバの非線形屈折率を小さくする方法、ファイバ母材から紡糸する際に光ファイバの外径を変化させて非線形効果のひとつであるブリルアン散乱を抑制する方法などが提案されているが、中でも光ファイバの有効コア断面積の拡大は有効な方法のひとつである。

【0006】しかしながら、上述の従来の分散補償光ファイバにおいては、単位損失当たりの波長分散量を示す、いわゆる性能指数（FOM）の向上を図り、かつ分散スロープを補償することができるものが開発されているが、これらの特性と有効コア断面積の拡大を同時に実現することは困難であった。

【0007】また、最近では従来用いられてきたCバンド帯よりも長波長のいわゆるLバンド帯（1.57～1.63μm）においても光通信を行う方式が検討されている。したがって、Cバンド帯のみならずLバンド帯においても1.3μm用シングルモード光ファイバの波長分散と分散スロープを補償することができる分散補償光ファイバが必要とされているが、従来のものでは十分に対応することができなかった。また、このような波長帯において、有効コア断面積が大きいことも同時に要求されているが、従来のものでは十分に対応することができなかった。さらに、分散補償光ファイバにおいては、使用波長帯においてシングルモード伝搬であることや、曲げ損失が実用可能な程度に小さいことが要求される。

【0008】本発明は前記事情に鑑みてなされたもので、1.53～1.63μmの全範囲において、1.3μm用シングルモード光ファイバの波長分散を補償することができ、かつシングルモード伝搬を補償でき、曲げ損失が小さい分散補償光ファイバを提供することを課題とする。さらに、分散スロープも同時に補償することができ

る分散補償光ファイバを提供することを課題とする。さらに、有効コア断面積が大きく、非線形効果を抑制できる分散補償光ファイバを提供することを課題とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために第1の発明の分散補償光ファイバは、波長1.53～1.63μmの全範囲において、1.3μm用シングルモード光ファイバの波長分散を補償可能な分散補償光ファイバであって、波長1.55μmにおいて、波長分散が-50ps/nm/km以下であり、波長1.53～1.63μmの全範囲において、以下の（A）～（D）の条件を満足することを特徴とする。

（A）負の分散スロープを有する。

（B）実質的にシングルモード伝搬となるカットオフ波長を備えている。

（C）有効コア断面積が20μm<sup>2</sup>以上である。

（D）補償対象である1.3μm用シングルモード光ファイバの波長分散を補償したときの線路全体の波長分散の絶対値が15ps/nm/km以下である。第2の発明の分散補償光ファイバは、第1の発明の分散補償光ファイバにおいて、波長1.53～1.63μmの全範囲において、補償対象である1.3μm用シングルモード光ファイバの波長分散を補償したときの線路全体の波長分散の絶対値が0.5ps/nm/km以下のものである。第3の発明の分散補償光ファイバは、第1または第2の発明の分散補償光ファイバにおいて、波長1.53～1.63μmの全範囲において、曲げ損失が30dB/m以下のものである。第4の発明の分散補償光ファイバは、第1～第3のいずれかの発明の分散補償光ファイバにおいて、コアとその外周上に設けられたクラッドとからなり、該コアが、前記クラッドよりも高い屈折率を備えた中心コア部と、該中心コア部の外周上に設けられ、前記クラッドよりも低い屈折率を備えた中間コア部と、該中間コア部の外周上に設けられ、前記クラッドよりも高い屈折率を備えたリング状のリングコア部とからなる屈折率分布形状を備えているものである。第5の発明の分散補償光ファイバは、第1～第3のいずれかの発明の分散補償光ファイバにおいて、中心コア部と、該中心コア部の外周上に設けられた該中心コア部よりも低い屈折率を備えた中間コア部と、該中間コア部の外周上に設けられた該中間コア部よりも高く、かつ前記中心コア部よりも低い屈折率を備えたリング状のリングコア部と、該リングコア部の外周上に設けられた該リングコア部よりも低く前記中間コア部よりも高い屈折率を備えたクラッドとからなる屈折率分布形状を備えているものである。第6の発明の分散補償光ファイバは、第4または第5の発明の分散補償光ファイバにおいて、中心コア部の外径を2a、リングコア部の内径を2b、リングコア部の幅をw、クラッドと中間コア部との比屈折率差をΔd、クラッドとリングコア部との比屈折率差をΔe、ク

ラッドと中心コア部と比屈折率差を $\Delta f$ としたとき、  
 $2.5 \leq b/a \leq 5.0$ ,  $0.3 \leq w/a \leq 1.7$ ,  $\Delta d$ が $-0.2 \sim -0.5\%$ ,  $\Delta e$ が $0.1 \sim 1.3\%$ ,  $\Delta f$ が $1.5\%$ 以下であることを特徴とする分散補償光ファイバである。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、本発明を詳細に説明する。  
 本発明の分散補償光ファイバは、波長 $1.53 \sim 1.63 \mu\text{m}$ の全範囲において分散スロープが負の値を有することによって、 $1.3 \mu\text{m}$  SMFの分散スロープを補償することができる。分散補償光ファイバの最適な分散スロープの値は補償する $1.3 \mu\text{m}$ 用SMFの分散スロープと使用長さによって変化するため、特に限定するものではないが、例えば $-0.15 \sim -0.45 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 程度であると好ましい。

【0011】また、分散補償光ファイバはシングルモード光ファイバを補償するものなので、波長 $1.53 \sim 1.63 \mu\text{m}$ の全範囲において、常にシングルモード伝搬を行う必要がある。なお、実際の長尺の使用状態においては、CCITTの2m法によるカットオフ波長が $1.53 \mu\text{m}$ よりも長くてもシングルモード伝搬が可能である。したがって、カットオフ波長は、使用長さなどを考慮して、実際の使用状態において実質的にシングルモード伝搬を保証する値でなければならない。

【0012】有効断面積 $A_{\text{eff}}$ は、下記関係式で定義されるものである。

【0013】

【数1】

$$A_{\text{eff}} = \frac{2\pi \left\{ \int_0^\infty r |E(r)|^2 dr \right\}^2}{\int_0^\infty r |E(r)|^4 dr}$$

$r$ : コアの半径、 $E(r)$ : 半径 $r$ での電界強度

【0014】波長 $1.53 \sim 1.63 \mu\text{m}$ の全範囲において、 $A_{\text{eff}}$ が $20 \mu\text{m}^2$ 未満では非線形効果を十分に低減することができない。なお、非線形効果を抑制する観点においては、 $A_{\text{eff}}$ が大きい程好ましいため、その上限値は特に限定することはないが、製造性などの観点から実質的には $30 \mu\text{m}^2$ 以下とされる。

【0015】そして、本発明の分散補償光ファイバは、波長 $1.53 \sim 1.63 \mu\text{m}$ の全範囲において、補償対象の $1.3 \mu\text{m}$  SMFと分散補償光ファイバとを組み合わせることでこの $1.3 \mu\text{m}$ 用SMFを補償したときの線路全体（分散補償光ファイバと $1.3 \mu\text{m}$ 用SMFとを合わせた線路全体）の波長分散の絶対値が $15 \text{ ps/nm/km}$ 以下、好ましくは $0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下である。その結果、Cバンド帯とLバンド帯の全帯域において、 $1.3 \mu\text{m}$ 用SMFの波長分散を補償することができる。また、本発明の分散補償光ファイバと $1.3 \mu\text{m}$

用SMFとを組み合わせたときの線路全体の伝送速度を $2.5 \text{ Gbit/s}$ 以上、好ましくは $10 \text{ Gbit/s}$ 以上とすることができる。また、前記全体の波長分散の絶対値が $0.5 \text{ ps/nm/km}$ 以下であると、線路全体の伝送速度を $10 \text{ Gbit/s}$ 以上、実質的には $40 \text{ Gbit/s}$ 付近とすることができ、さらに伝送容量の向上を図ることができる。

【0016】ここで、光通信システムなどに用いられる $1.3 \mu\text{m}$  SMFの長さ、波長分散は用途などによって様々である。したがって、分散補償光ファイバの好適な使用長さとは波長分散は、補償対象の $1.3 \mu\text{m}$  SMFの使用長さ、波長分散によって適宜定められる。ただし、本発明の分散補償光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ において、波長分散が $-50 \text{ ps/nm/km}$ 以下である必要がある。波長分散が $-50 \text{ ps/nm/km}$ よりも大きく、ゼロに近い場合には、波長 $1.53 \sim 1.63 \mu\text{m}$ の全範囲において $1.3 \mu\text{m}$ 用SMFを補償する際に、分散補償光ファイバの使用長さが長くなるなどの不都合がある。なお、従来の分散補償光ファイバにおいては、このように $1.3 \mu\text{m}$ 用SMFの条件にあわせて分散補償光ファイバを設計しようとしても、特にLバンド帯においては満足する特性が得られなかった。これに対して本発明の分散補償光ファイバは、Lバンド帯においても十分に $1.3 \mu\text{m}$ 用SMFの波長分散を補償できる点に特徴がある。

【0017】例えば $1.63 \mu\text{m}$ における波長分散が $+21 \text{ ps/nm/km}$ の $1.3 \mu\text{m}$  SMFを $10 \text{ km}$ 使用したとき、分散補償光ファイバの $1.63 \mu\text{m}$ における波長分散が $-74 \text{ ps/nm/km}$ 程度であれば、この分散補償光ファイバを $2.84 \text{ km}$ 用いることによって、この $1.3 \mu\text{m}$  SMFの波長分散を補償することができる。上述のように $1.3 \mu\text{m}$ 用SMFの波長分散と使用長さは、用途によって様々であるため、特に限定するものではないが、 $1.53 \sim 1.63 \mu\text{m}$ における $1.3 \mu\text{m}$ 用SMFの波長分散は通常 $16 \sim 22 \text{ ps/nm/km}$ 程度である。また、本発明の分散補償光ファイバの使用長さは、 $1.3 \mu\text{m}$ 用SMFの使用長さに対して $1/6 \sim 1/3$ 程度に設定される。 $1/6$ 未満であると波長分散を十分に補償することができない場合があり、 $1/3$ をこえると伝送特性が劣化する場合がある。

【0018】このような特性値を満たす分散補償光ファイバは、Cバンド帯とLバンド帯とを組み合わせた $1.53 \sim 1.63 \mu\text{m}$ という広い波長帯域においても、 $1.3 \mu\text{m}$  SMFの波長分散と分散スロープを補償することができ、非線形効果が発生しにくいものである。特にLバンド帯においてこれらの特性を満足することが好ましい。

【0019】また、曲げ損失は曲げ直径（ $2R$ ）が $20 \text{ mm}$ の条件の値をいうものとする。本発明の分散補償光ファイバにおいて、好ましくは波長 $1.53 \sim 1.63$

$\mu\text{m}$ の全範囲において、曲げ損失は $30\text{ dB}/\text{m}$ 以下である。曲げ損失が $30\text{ dB}/\text{m}$ 以下であると、敷設時などに加えられる曲げによっても光学特性が劣化しにくく、好ましい。特にLバンド帯においてこの特性を満足することが好ましいことは上述の場合と同様である。

【0020】本発明の分散補償光ファイバが上述の特性を有するための第1の条件は、図1に示した屈折率プロファイルを有することである。この屈折率分布形状は、コア31とその外周上に設けられたクラッド32とからなる。そして、このコア31は、前記クラッド32よりも高い屈折率を備えた中心コア部31aと、この中心コア部31aの外周上に設けられ、前記クラッド32よりも低い屈折率を備えた中間コア部31bと、この中間コア部31bの外周上に設けられ、前記クラッド32よりも高い屈折率を備えたリング状のリングコア部31cとからなる。以下このような屈折率プロファイルをリング付きプロファイルとよぶ。さらに好ましくは、このリング付きプロファイルであって、中心コア部31aの外周上に、この中心コア部31aよりも低い屈折率の中間コア部31bが設けられ、さらにこの中間コア部31bの外周上に、この中間コア部31bよりも高く、かつ前記中心コア部31aよりも低い屈折率を備えたリングコア部31cが設けられ、さらにこのリングコア部31cの外周上に、このリングコア部31cよりも低く、かつ前記中間コア部31bよりも高い屈折率を備えたクラッド32が設けられている屈折率プロファイルが望ましい。

【0021】前記中心コア部31aとリングコア部31cは、例えば $\text{GeO}_2$ 添加 $\text{SiO}_2$ からなり、 $\text{GeO}_2$ の添加量によって屈折率が調整されている。中間コア部31bは、例えばF添加 $\text{SiO}_2$ からなり、クラッド32は純粋 $\text{SiO}_2$ 、あるいはF、Cl、Geの少なくともひとつが添加された $\text{SiO}_2$ からなる。また、2aは中心コア部31aの外径（aは外径の $1/2$ を示す）、2bはリングコア部31cの内径（bは内径の $1/2$ を示す）、wはリングコア部31cの幅、 $\Delta d$ はクラッド32と中間コア部31bとの比屈折率差、 $\Delta e$ はクラッド32とリングコア部31cとの比屈折率差、 $\Delta f$ はクラッド32と中心コア部31aとの比屈折率差である。なお、 $\Delta d$ 、 $\Delta e$ 、 $\Delta f$ はクラッド32を基準（零）にしており、他の層の屈折率がクラッド32の屈折率より大きい場合には正の値、小さい場合には負の値となる。

【0022】第2の条件は、図1に示したリング付きプロファイルにおいて、 $2.5 \leq b/a \leq 5.0$ 、 $0.3 \leq w/a \leq 1.7$ 、 $\Delta c$ が $1.3\%$ 、 $\Delta d$ が $-0.2 \sim -0.5\%$ 、 $\Delta e$ が $0.1 \sim 1.3\%$ 、 $\Delta f$ が $1.5\%$ 以下、好ましくは $1.3\%$ 以下であることである。これらは実験的に求めた数値範囲である。好ましくは、 $2.7 \leq b/a \leq 3.5$ 、 $0.3 \leq w/a \leq 1.5$ 、 $\Delta d$ が $-0.30 \sim -0.45\%$ 、 $\Delta e$ が $0.2\% \sim 1\%$ 、 $\Delta f$ が $0.8\% \sim 1.5\%$ とされる。さらに好ましくは

$2.8 \leq b/a \leq 3.1$ 、 $0.5 \leq w/a \leq 1$ 、 $\Delta d$ が $-0.30 \sim -0.42\%$ 、 $\Delta e$ が $0.4\% \sim 1\%$ 、 $\Delta f$ が $1 \sim 1.5\%$ とされる。

【0023】 $b/a$ が2.5よりも小さいと波長分散を十分に低減することができず、また、5.0よりも大きいと、単峰型プロファイルの特性に近づくため、 $A_{eff}$ を拡大することができない。 $w/a$ が0.3よりも小さいとリングコア部31cによる効果が減少し、W型の特性に近づくため、 $A_{eff}$ を拡大することができない。 $1.7$ よりも大きいとカットオフ波長が長くなり、シングルモード伝送を行うことができなくなる。 $\Delta d$ が $-0.2\%$ よりも大きいと、分散スロープを十分に小さくすることができず、 $-0.5\%$ よりも小さいと伝送損失が悪化し、FOMが劣化する。 $\Delta e$ が $0.1\%$ よりも小さいと、リングコア部31cによる効果が消失し、 $A_{eff}$ を拡大することができない。また、 $1.3\%$ よりも大きいと、カットオフ波長が長くなり、シングルモード伝送が不可能となる。 $\Delta f$ が $1.5\%$ よりも大きいと $A_{eff}$ を $20\mu\text{m}^2$ 以上にすることが困難となる。

【0024】なお、 $\Delta d$ 、 $\Delta e$ 、 $\Delta f$ の好適な値は、 $b/a$ および $w/a$ の値によって変化し、上述の実験的に求めた $\Delta d$ 、 $\Delta e$ 、 $\Delta f$ の数値範囲内であっても本発明の分散補償光ファイバの特性を有するものが得られるとは限らない。このような観点から、本発明では分散補償光ファイバの構造パラメータの値のみによって発明を特定することが困難であり、特性値によってその特定を行うようにしたものである。そして、かかる特性値は、従来知られている分散補償光ファイバでは取り得ないものであることは言うまでもない。

【0025】本発明の分散補償光ファイバは、通常のVAD法とOVD法との組み合わせや、MCVD法などによって製造できる。リング付プロファイルでは、リングコア部31cの存在により伝送光の光パワーの電界強度分布がクラッド32側に長く尾を引く形となるため、光ファイバ母材の製造の際に、クラッドとなるスートのかなりの部分を中心のコアとなるスートと同時に一括して合成する方法をとることが望ましい。

【0026】

【実施例】（実施例）図1に示したリング付きプロファイルの屈折率プロファイルを有する5種類（No1～5）の分散補償光ファイバを作製し、その特性を評価した。表1にNo1～5の分散補償光ファイバの $b/a$ 、 $w/a$ 、 $\Delta d$ 、 $\Delta e$ と、光学特性を示した。なお、カットオフ波長（ $\lambda_c$ ）はCITTの2m法によって測定した値である。また、MFDはモードフィールド径である。また、曲げ損失はいずれも $30\text{ dB}/\text{m}$ 以下であった。

【0027】

【表1】

No	b/a	w/a	$\Delta d$	$\Delta e$	$\Delta f$	測定波長 ( $\mu\text{m}$ )	損失 (dB/km)	波長分散 (ps/nm/km)	分散2D-7* (ps/nm <sup>2</sup> /km)	MFD ( $\mu\text{m}$ )	$\lambda_c$ ( $\mu\text{m}$ )	FCM (ps/nm/dB)	Aeff ( $\mu\text{m}^2$ )
1	3	0.5	1	-0.4	1.0	1.55	0.28	-54.6	-0.16	5.64	1.56	+195	26.6
						1.63	0.27	-61.7	-0.15	6.22		+247	30.2
2	2.9	0.7	1	-0.4	0.7	1.55	0.3	-55.1	-0.16	5.65	1.54	+184	26.5
						1.63	0.28	-62.1	-0.15	6.27		+222	30.5
3	3	1	1.2	-0.4	0.5	1.55	0.32	-69.2	-0.20	5.22	1.41	+218	21.9
						1.63	0.29	-79.2	-0.19	5.84		+273	28.1
4	3	1	1.2	-0.4	0.6	1.55	0.32	-69.8	-0.21	5.23	1.67	+218	22.5
						1.63	0.29	-77.0	-0.19	5.86		+265	27.5
5	3	1	1.2	-0.4	0.4	1.55	0.31	-71.6	-0.20	5.24	1.15	+231	21.9
						1.63	0.30	-82.5	-0.20	5.88		+273	27.1
6	3	1	1.0	-0.45	0.5	1.55	0.33	-60.4	-0.37	5.43	1.58	+183	24.2
						1.63	0.32	-85.5	-0.17	6.24		+267	36.1
7	3.1	1	1.0	-0.42	0.5	1.55	0.31	-59.2	-0.33	5.46	1.43	+191	24.1
						1.63	0.30	-83.0	-0.19	6.26		+276	35.5
8	3.1	1	1.1	-0.30	0.5	1.55	0.28	-54.0	-0.11	5.53	1.40	+193	24.5
						1.63	0.27	-59.2	-0.01	6.26		+220	33.1

【0028】表1より、いずれの分散補償光ファイバも、本発明の特性を満たしていた。ついで、これら分散補償光ファイバを用いて1.3 $\mu\text{m}$ 用シングルモード光ファイバ（波長1.55 $\mu\text{m}$ における波長分散が+17 ps/nm/km、分散スロープが0.06 ps/nm<sup>2</sup>/km）を補償したところ、表2に示したような結果となり、1.53～1.63 $\mu\text{m}$ において、1.3 $\mu\text{m}$ 用SMFの波長分散と分散スロープを補償することができた。また、NO1～5の分散補償光ファイバを用いた

20 場合の線路全体の波長分散は0.5 ps/nm/km以下であり、伝送速度は40 Gbit/s付近であり、非常に良好であった。一方、NO6～7の分散補償光ファイバを用いた場合の線路全体の波長分散は0.5～15 ps/nm/kmの範囲であり、伝送損失は10 Gbit/s付近であり、実用には問題ない値であった。

【0029】

【表2】



分散 補償光 ファイバ	測定 波長	使用長さ(km)		線路 全体の 波長分散 (ps/nm/km)	線路全体 の分散 スロープ (ps/nm <sup>2</sup> /km)	線路全体 の伝送 速度 (Gbit/s)
		1.3μm用 SMF	分散 補償光 ファイバ			
No1	1.53μm	60	20.16	-0.29	-0.003	40
	1.63μm			0.50	-0.008	
No2	1.53μm	60	20.1	-0.38	-0.002	40
	1.63μm			0.45	0.008	
No3	1.53μm	60	15.9	-0.34	-0.005	40
	1.63μm			0.33	0.008	
No4	1.53μm	60	16.08	-0.49	-0.004	40
	1.63μm			0.50	0.007	
No5	1.53μm	60	15.3	-0.30	-0.002	40
	1.63μm			0.30	0.008	
No6	1.53μm	60	12	4.3	-0.014	10
	1.63μm			3.6	0.013	
No7	1.53μm	60	17.4	1.17	-0.026	10
	1.63μm			-2.08	0.004	
No8	1.53μm	60	12.6	4.9	0.024	10
	1.63μm			7.4	0.050	

【0030】（比較例1）図2に示した単峰型プロファイル  
を有する従来の分散補償光ファイバを作製した。な  
お、 $\Delta f_s$ は2.5%とした。得られた分散補償光ファイバの光学特性を表3に示した。  
【0031】  
【表3】

ファイバ構造	単峰型	
測定波長	1.55μm	1.63μm
損失	0.37 dB/km	0.35 dB/km
波長分散	-75 ps/nm/km	-69.5 ps/nm/km
分散スロープ	+0.09 ps/nm <sup>2</sup> /km	+0.10 ps/nm <sup>2</sup> /km
MFD	4.4 μm	4.8 μm
FOM	202 ps/nm/dB	198 ps/nm/dB
Aeff	14.8 μm <sup>2</sup>	17.7 μm <sup>2</sup>

【0032】（比較例2）図4に示すW型の屈折率プロ  
ファイルを有する分散補償光ファイバを作製した。なお  
 $2a_2$ は2.5、 $b_2/a_2$ は2.5、 $\Delta d_2$ は0.35、  
 $\Delta f_s$ は2.5とした。表4に光学特性を示した。なお  
1.63μmの光については曲げ損失が大きく、伝送す  
ることができなかった。

【0033】

【表4】

ファイバ構造	W型
測定波長	1.55μm
損失	0.45 dB/km
波長分散	-138 ps/nm/km
分散スロープ	-0.49 ps/nm <sup>2</sup> /km
MFD	3.9 μm
FOM	300 ps/nm/dB
Aeff	12 μm <sup>2</sup>

【0034】表3、4より、比較例1、2の分散補償光  
ファイバは、いずれもAeffの値が小さかった。な

お、実施例、比較例1、2について波長 $1.62\mu\text{m}$ における光学特性の測定結果は $1.63\mu\text{m}$ における光学特性の測定結果と同様であった。

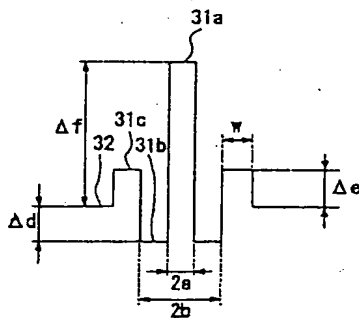
【0035】

【発明の効果】以上説明したように、本発明においては、 $1.53\sim 1.63\mu\text{m}$ の全範囲において、 $1.3\mu\text{m}$ 用シングルモード光ファイバの波長分散と分散スロープを補償することができ、かつシングルモード伝搬を補償でき、さらに有効コア断面積が大きく、非線形効果を抑制できる分散補償光ファイバを提供することができ

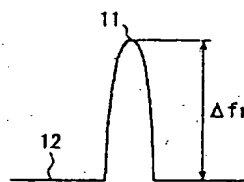
【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の分散補償光ファイバの屈折率プロファイルであるリング付プロファイルの一例を示す図であ

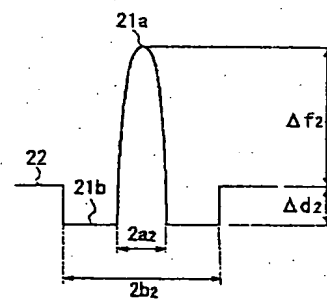
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 鈴木 孝至

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内

(72)発明者 和田 朗

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉事業所内

Fターム(参考) 2H050 AC09 AC14 AC15 AC23 AC71  
AC73 AC75 AC76